

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

UNA PROPUESTA EN GEOIMÁGENES: GOOGLE EARTH

A geoimages proposal: Google Earth

L. Montealegre de Contreras ()*

RESUMEN

La utilidad de nuevos instrumentos y métodos didácticos está siendo abordada por buena parte del profesorado. Entre otros, es Internet el más frecuentado, y con mucho, por la labor didáctica, porque supone unas posibilidades inmensas en la Enseñanza media y la Universidad. Por ello se recurre a este medio en la búsqueda de nuevas fórmulas y a exponer una selección de ejemplos.

En este trabajo se abre una vía, ya conocida, pero aun no explorada suficientemente en el campo geológico. Se propone un camino en la investigación en el aula, mediante el Programa GOOGLE EARTH, con el objetivo preciso de reconocer buena parte de las estructuras tectónicas y de las formas del relieve (geomorfológicas) presentes en el Planeta. Para ello se mencionan e ilustran diversos temas de un supuesto temario de geología, con la propuesta de investigar en las imágenes Landsat de fácil acceso en Internet, las diferentes estructuras y algunas interesantes geoformas.

ABSTRACT

The utility of new instruments and didactics methods is been boarded by secondary school and university teachers. Internet is, undoubtedly, and emerging didactic tool with an enormous potential in the educational field, and it is an increasing source of textual information and images to complete and illustrate many topics in Geology.

In this work, I propose the use of GOOGLE EARTH, which offers satellite imagery, map and all the power of Google Search. With this tool we can recognize, even in 3D, very good examples of tectonics structures and geomorphological forms from all our planet. Using the images captured from this application I illustrate several chapters of a virtual Program of Geology.

Palabras clave: *geoimagen, Internet, Geología, Google Earth, cráter de impacto, volcanes, estructura tectónica.*

Keywords: *geoimage, Internet, Geology, Google Earth, impact crater, volcanoes, tectonic structure.*

INTRODUCCIÓN

Si es cierto que la evolución afecta a todo el Universo, y, por supuesto, a nuestro minúsculo Planeta, también es cierto que la evolución afecta no solo a toda la Biosfera, sino también a nuestros métodos de enseñanza del conocimiento geológico para las generaciones futuras. El tópico de los primeros años del pasado siglo ("los tiempos cambian que es una barbaridad"), o la afirmación de un teórico enseñante de los felices 70 ("los currícula educativos evolucionan irremediabilmente"), hoy vulgarismos y clasicismos etimológicos, se traducen ahora en una fuerte aceleración de la metodología propuesta para el aprendizaje, impulsada por la casi explosiva marcha del conocimiento científico.

Es obvio que debemos encontrar caminos nuevos, quizás cada día, para no rezagarnos en el intento de ser amenos, atractivos (¿porqué no?), convin-

centes y altruistas a la hora de explicar nuestras lecciones tan bien aprendidas o nuestros conocimientos inéditos, durante tantos años de experiencia geológica. Tal vez este trabajo consiga una renovación en el interés al estudio y conocimiento geológico por nuestra sociedad.

GOOGLE EARTH

Y de esto se trata: de proponer algo con una herramienta de nuestro tiempo, que obviamente ya está iniciada, pero con un enfoque nuevo. Me refiero al uso del programa de Internet <www.earth.google.com>. Tal vez no sea original del todo: los trabajos de Sánchez y Fernández (2004), Lamas (2006) y muchos otros, algunos publicados en nuestra revista de la AEPECT, así lo confirman. Pero la propuesta que aquí se expone utiliza este programa

(*) Departamento Ciencias y Recursos A. y F., E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba. Edificio C-4, Campus Universitario de Rabanales. 14070 Córdoba. E-mail: cr1mocol@uco.es

de fácil acceso, como una investigación didáctica en la búsqueda de ejemplos en diversos campos de la Geología que tradicionalmente se apoyan en imágenes Landsat obtenidas mediante satélite y la fotografía aérea de la superficie emergida del Planeta.

Estas imágenes, desde su inicio en 1970 (Landsat-1, con resoluciones cercanas a 100 m) hasta las de gran resolución actuales (Landsat-7 con casi 30 cm de resolución) han sido utilizadas ampliamente por los trabajos geológicos y casi enseguida publicadas bien como pósteres, bien como ilustraciones en la bibliografía didáctica de nivel universitario. Buenos ejemplos han sido incluidos en publicaciones universitarias como en Summerfield (1991 y 1994) y en textos de carácter didáctico (Siever *et al.* 2004), etc. También se han publicado imágenes en obras de carácter ilustrativo y de lucimiento sin ningún ánimo científico o didáctico, procedentes de NPA Satellite Mapping, de NASA GSFC, de USGS EROS, del equipo ASTER, etc., (ver por ejemplo en <www.blume.net>), en ocasiones fieramente coloreadas en falso color: “La Tierra desde el Cielo” (2004), de la editorial Blume.

La utilidad geológica del Earth Google es bien clara: se trata de las imágenes satélite Landsat de penúltima generación (la última no ha salido aún de los centros estratégicos de poder), con discriminación aceptable en un 70% de la superficie y de casi un 15% de la misma con resolución mejorada (discriminación próxima a 1 m). Las zonas polares están exentas y apenas son visibles, especialmente desde los 65° de latitud (N y S). Este programa no es de tiempo real, pero sí interactivo y fácil de instalar en el ordenador personal, con lo cual es posible utilizarlo durante un tiempo razonable. Existe una versión no gratuita muy mejorada respecto la anterior, que aumenta las zonas de alta resolución en un porcentaje considerable, además de limpiar otras excesivamente oscuras, pero para los fines que aquí se proponen, quizás no sea necesaria.

Las imágenes recorridas se inician con toda la Tierra en pantalla (Figura 1), permitiendo el acercamiento rápido con un simple toque de ratón, y un acercamiento/alejamiento suave mediante los mandos incorporados en la pantalla del programa. Estos mandos también permiten el cambio del punto de vista resolviendo imágenes oblicuas. Pero la obli-

cuidad disminuye la escala vertical aparente y provoca cierta deformación, bastante acusada si el acercamiento es mayor, lo cual es patente por ejemplo en estratos subhorizontales con relieve en mesa, y sólo tiene utilidad para casos concretos. Las zonas de alta resolución suelen estar coloreadas de marrón o naranja y algunas en gris. El resto es variable, siempre en falso color, a veces exagerado, si bien con relativa semejanza al color real: así las montañas nevadas aparecen en su color aparente, al igual que la arena y muchos niveles rocosos, el agua es negra, azul o celeste, y los cultivos verdes. En la zona costera, el agua se desdibuja y sólo ofrecen interés los estuarios.

Un dato esencial es que la pantalla incluye datos de posición geográfica del vector del ratón: latitud y longitud según Greenwich, además de la altitud del punto señalado. La altura del punto, así como la altura del vuelo están marcadas en millas y pies, lo que no es obstáculo si se tiene un conversor a mano (1 mi = 5279 ft = 1609 m, 1 ft = 0,304 m), o se cambian las unidades en una ventana auxiliar del programa. La ventaja es que al salvar y copiar una imagen (lo cual ocurre con resolución aceptable en un 85% del área visible en pantalla) quedan incluidos dichos datos junto a una pequeña brújula.

Es evidente que la utilidad de esta herramienta se favorece aún más por la presencia previa de un buen mapa geológico, que nos hace las veces de “libro de cabecera”, aunque éste no tiene por que ser de escala grande. También es muy favorable la consulta de imágenes terrestres o aéreas de baja altura que muestren la estructura, naturalmente siempre que lo importante de la misma no sea demasiado vertical, ya que entonces no sería visible mediante el Landsat. El programa Google Earth tiene otras limitaciones, bien conocidas, como el hecho de reducir la escala vertical cuando se gira la posición del punto de vista “satelital” para observar imágenes oblicuas, lo que conduce a la deformación de la perspectiva.

CAMPOS GEOLÓGICOS

Que los campos geológicos a los cuales se puede aplicar son muy diversos es algo obvio cuando se recorre la imagen Landsat. En efecto, es posible encontrar un buen número de estructuras tectónicas y una gran variedad de morfologías, especialmente las que a juicio del autor, corresponden a uno de los tipos de relieve más significativos de la superficie terrestre: los relieves estructurales. Pero también, cuando los climas son extremados, ciertas formas morfoclimáticas son claramente visibles. Tal es el caso de las formas glaciares y del ambiente periglaciario: en este último se reconocen suelos poligonales, formas de pingos y lagunas, etc. Es posible afirmar que este programa bien utilizado es obviamente como un texto ilustrado con todos los ejemplos geomorfológicos posibles, y buen número de estructuras tectónicas. Para demostrar esta afirmación veamos en un supuesto “Programa de Geología” los diferentes temarios susceptibles para su aplicación:

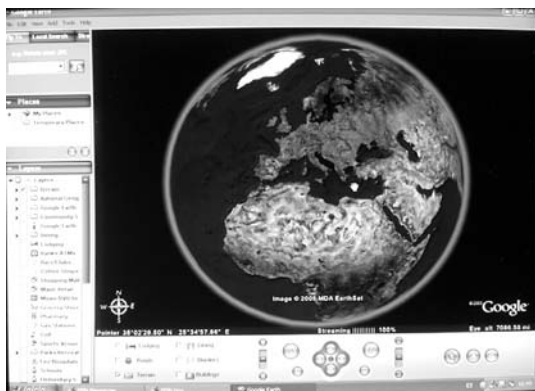


Fig. 1. Pantalla del Programa

Un tema de Introducción general a la Geología

Puede mostrar imágenes a escalas distintas, desde las de una gran cordillera hasta las de una estructura tectónica de dimensión no demasiado reducida. El acercamiento de la imagen y el vuelo virtual a través de una determinada zona mas o menos extensa, sea en vertical como en imagen oblicua, es precisamente una de las bazas en este tema. En efecto, un viaje hacia el interior sudafricano, nos lleva al impresionante farallón de Drakensberg, que ya ilustraba el texto de Holmes & Holmes (1982) como ejemplo de una gran morfoestructura de retroceso (Meseta de coladas volcánicas de Lesotho) ligada al transcurso de varias fases o ciclos de erosión a lo largo del tiempo geológico. Algunas cordilleras (no cualesquiera en este Programa) son cómodas para entender la dimensión de un orógeno: Atlas, Montes Zagros, Los Andes, Las Rocosas, etc.

Temas de Petrología Endógena

Permite reconocer en superficie algunas formas de rocas ígneas: plutónicas (Figura 2) y, sobre todo, volcánicas (pitones y chimeneas, volcanes en escudo, estratovolcanes, coladas, fisuras, etc. (Figuras 3, 4 y 5). El tema enlaza directamente con la geomorfología volcánica, siendo estas estructuras volcánicas las que mejor se suelen ver, tanto vertical como en imagen oblicua. Un ejemplo es la observación de batolitos de Egipto y Sudan (en la margen derecha del Nilo), del Sáhara central y Libio-egipcio, etc. Y sobre todo un impresionante elenco de formas vol-

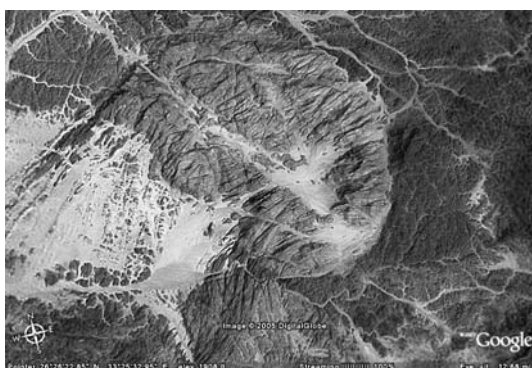


Fig. 2. Plutones ácidos al E de Qina (Egipto oriental), 26°26'22"N, 33°35'32"E, 12,7 mi. (20,3 Km)



Fig. 3. Caldera volcánica en Tibesti (Sáhara central). 21°01'56"N, 17°40'37"E, 15,93 mi (25 Km)

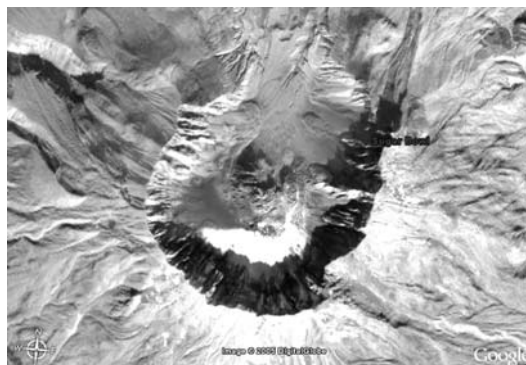


Fig. 4. Volcán Saint Helen (USA), 46°12'00"N, 122°11'14"W, 22.216 ft. (6.660 m)



Fig. 5. Volcán SP Mountain, al S del Gran Canyon y su colada negra, USA. 12 35°36'33"N, 111° 37'07"W, 32.878 ft. (9.900 m)

cánicas en todo el mundo, especialmente de los países desérticos, donde son más claros y visibles: Sáhara, Irán-Pakistán, Sudáfrica, el oeste de Estados Unidos, Los Andes, México, etc., muestran los más fácilmente reconocibles.

Temas de Geología Estructural y Tectónica

Obviamente estos temas permiten mostrar buen número de estructuras tectónicas, siendo muy visibles los **pliegues**: anticlinales, sinclinales, diapiros, pliegues concéntricos, similares, pliegues en relevo, formas en domo y cubeta y cierres periclinales (Figuras 6, 7, 24, 25, 26, 27 y 28).



Fig. 6. Anticlinal en el Atlas de Túnez (E de Gafsa). 34°18'36"N, 09°19'51"E, 49.300 ft. (14,7 km)



Fig. 7. Sinclinal del Atlas sahariano (Montes des Ksour). $33^{\circ}02'58''N$, $0^{\circ}12'40''E$, 48.290 ft. (14,5 km)

También destacan las **fracturas**: diaclasas y fallas de todo tipo y régimen (Figuras 8, 9, 10 y 11). Diaclasas, fallas gravitacionales y desgarres son más fáciles de observar que las fallas compresivas o los mantos. Estos últimos no son tan evidentes pese a sus dimensiones.

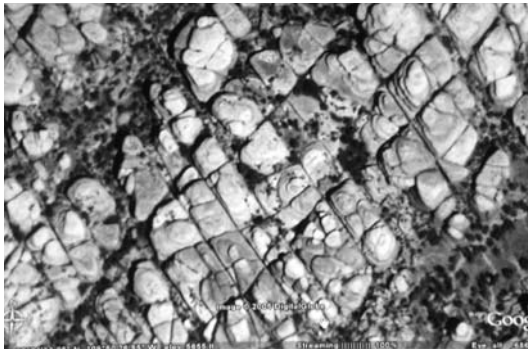


Fig. 8. Diaclasas y fallas cruzadas de pequeño salto, en la arenisca Navajo (zona de Virginia Park, USA), $38^{\circ}04'33''N$, $100^{\circ}50'26''W$, 6865 ft. (2140 m)



Fig 9. Fallas N-S en las capas Proterozoicas, Mont Laptz, en los Kimberly, NW de Australia. $17^{\circ}32'03''S$, $126^{\circ}54'21''E$, 14,9 mi. (24,8 km)

Temas de Tectónica de Placas

Los grandes rasgos de las cordilleras son claramente visibles, y cualquier región, desde una distancia virtual elevada puede dar un buen ejemplo

del tema explicado en clase: cuencas pull-apart o de separación ligadas a fallas transcurrentes, transformantes (la falla de Altyn, al N del Himalaya es muy visible durante su gran longitud (Figuras 10 y 11), cuencas de antepaís, zonas de pinzamiento, etc.

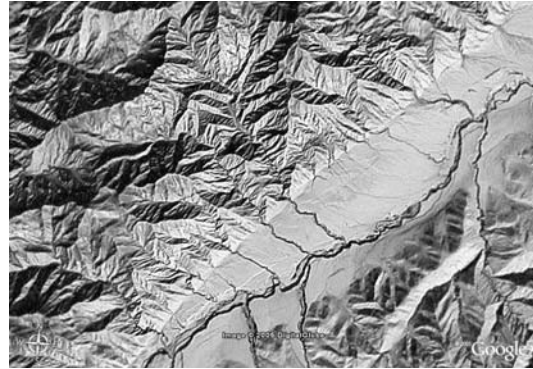


Fig. 10. Altyn Fault, montes Kunlun Shan (S del Sinkiang), $36^{\circ}34'07''N$, $83^{\circ}30'45''E$, 52.500 ft. (15,7 km)



Fig. 11. Imagen oblicua: otro sector de la falla Altyn (al SO de la anterior) $38^{\circ}48'23''N$, $91^{\circ}24'07''E$, 39.950 ft (aproximados)

Temas de Estratigrafía.

No es tan difícil encontrar imágenes que sirvan de ejemplo de diferentes conceptos. Tal es el caso de las discordancias angulares (a veces espectaculares) (Figura 12), el de series con estratos que se



Fig. 12. Discordancia (Neógeno sobre Paleozoico-Jurásico), NW de Marrakech, $31^{\circ}56'45''N$, $8^{\circ}51'43''W$, 51.360 ft (15,4 km)

acúñan lateralmente, o la correlación de capas en diferentes lugares, caso de la gran cuesta sahariana de Jebel-Quarkiz (Figura 13).

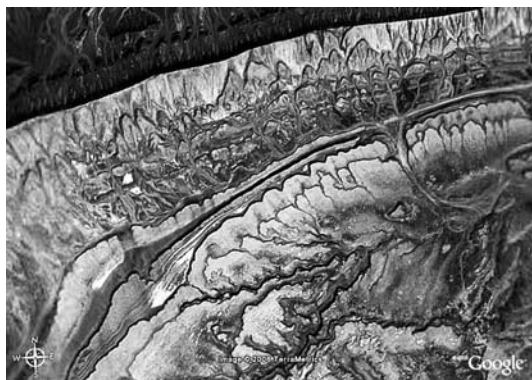


Fig. 13. Gran cuesta del Jebel-Quarkiz, Sáhara occidental (serie Paleozoica-Mesozoica, con buzamiento hacia el SE). 28°09'57"N, 10°23'10"W, 37.000 ft (11,1 km)

Temas sobre Geomorfología.

Las posibles propuestas son muy variadas:

6-1 Geoformas básicas no estrictamente climáticas: **laderas y cauces fluviales.**

En las laderas, los deslizamientos rotacionales y en ocasiones la caída de bloques, pueden tener las condiciones adecuadas para su observación. Pese a las grandes dimensiones de algunos flujos no son siempre fácilmente visibles, incluso en alta resolución ya que los grandes flujos suelen ocurrir en países húmedos, con cobertura vegetal importante, pendientes fuertes, y depósitos friables, y todo ello dificulta que puedan detectarse fácilmente en las imágenes del Google Earth.

Los cauces fluviales son por el contrario una de las formas más frecuentes en todo el globo. Así se reconoce la enorme importancia de los abanicos aluviales (Figura 14), los ríos anastomosados, braided y meandros de todo tipo (Figura 15). Las llanuras de inundación, los point bar, o los cauces abandonados, por su extensión son muy visibles. Así

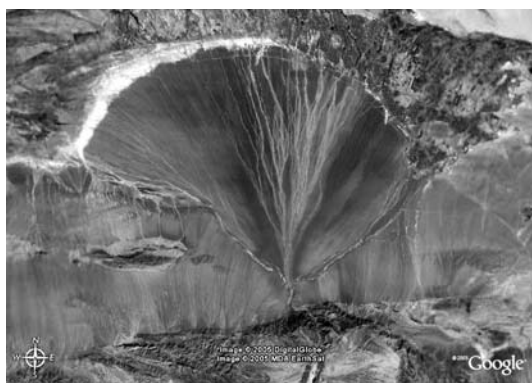


Fig. 14. Abanico aluvial en la zona de Altyn Fault, China (azul y verde: tierras bajas de cultivos que aprovechan el acuífero), 40°11'08"N, 96°41'52"E, 54,9 mi. (88 km)



Fig. 15. Meandro encajado en el río Colorado. 38°11'06"N, 109°53'24"W, 12.615 ft (3780 m)

mismo las formas asociadas a los litorales, tales como deltas, estuarios, etc. son, en ocasiones, espectaculares. Ejemplos de ríos de magnífica visión didáctica son: Tagliamento (italiano) (Figura 16), Lena y Dnieper (Siberia), Amarillo (China), Ganges y Bramaputra (India), Mekong (Vietnam), Senegal (Figura 17), Niger y Congo (África central), etc. El Amazonas, el Danubio o el Volga quedan demasiado oscuros o faltos de resolución en el programa. Algunos sólo tienen interés en su desembocadura (Madagascar). Otros bellos estuarios se encuentran en Alaska y Canadá.



Fig. 16. Cauce braided del río Tagliamento (Spilimbergo, S de los Alpes), 46°07'41"N, 12°56'38"E, 7653 ft (2280 m)



Fig. 17. Río Senegal (cerca de Kaédi) (el agua ocupa los canales y la llanura de inundación). 16°07'10"N 13°42'06"W, 52.230 ft (15,6 km)

6-2 Relieves morfoclimáticos:

a) climas fríos, glaciares y periglaciares. Con buena visión de glaciares de lengua: Alpes (Mer de Glace), Andes (Perito Moreno) y Himalaya. Glaciares tipo Alaska (el de Malaspina al sur de Alaska (Figura 18), Islandia (Vatna), etc. El gran Casquete glaciario de Groenlandia no ofrece particular interés.

Formas de **periglaciario**: pingos, lagunas y suelos poligonales (los últimos, por su menor tamaño, sólo en alta resolución): Isla de Baffin, costa N de Canadá (Figura 19), N de Siberia, estuario del Lena, etc. En relación con las glaciaciones no es fácil observar los frentes morrénicos, pero pueden verse algunas cascadas famosas, como las del Niágara, además de los fiordos noruegos, los lagos finlandeses y canadienses, etc. En las zonas montañosas se reconocen bastante bien los horn (Himalaya, Andes, Alpes, etc)



Fig. 18. Frente de hielo plegado y morrena frontal del glaciar Malaspina (Alaska), 59°52'13"N, 140°14'04"W, 38,500 ft (10,5 km)

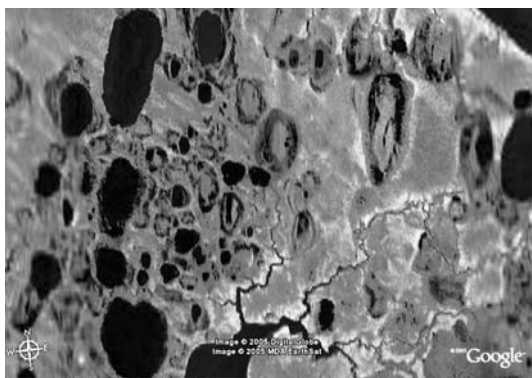


Fig. 19. Pingos y lagunas en la costa N del Canadá (C. Bathurst). 70°26'16"N, 127°54'33"W, 52,600 ft (15,8 km)

b) relieves desérticos. Las formas del desierto arenoso son muy abundantes, pudiendo ofrecer todo tipo de dunas: dunas alargadas en stiff, dunas en estrella o piramidales, formas arrosariadas, campos de barjanes, dunas costeras, etc. Son muy visibles las de los desiertos del Kalahari, los grandes Ergs Occidental y Oriental saharianos (Figura 20), y la gran alineación arenosa de Arabia (Figura 21). Otras formas están mas relacionadas con el relieve estructural:

como es notorio, el desierto destaca muy bien las estructuras tectónicas, los relieves estructurales (cuestas, hog back, las mesas, etc.) y los volcanes entre otras formas.



Fig. 20. Dunas en pirámide, Gran Erg en Libia, 31°12'58"N, 7°58'17"E, 14,465 ft (4350 m)

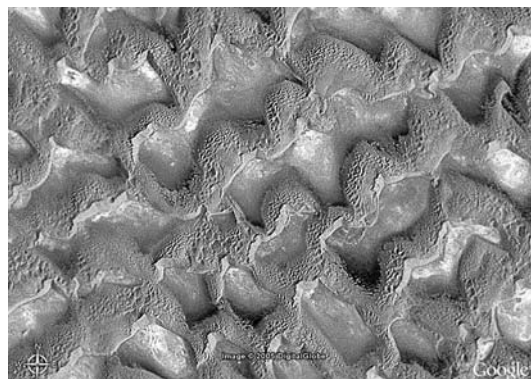


Fig. 21. Campo de dunas en nido de abeja (en gris: basamento con sales), SE de Arabia Saudí. 22°01'52"N, 54°57'00"E, 43,900 ft (14,17 km)

c) Los demás climas son evidentemente más difíciles de reconocer, dado que no suelen tener formas características o zonales. Una forma común, los lagos, es muy visible en todas las latitudes y climas: Mar de Aral, lagos salinos australianos (Barlee, Figura 22), de Turquía, Bolivia, etc.



Fig. 22. Lago Barlee, E-Australia. 29°10'39"S, 119°29'33"E, 38,260 ft (11480 m)

6-3 Relieves litológicos.

El modelado de las calizas en la resolución media de Google Earth es menos patente. Así, lugares destacables como el Torcal, La Ciudad Encantada, o los paisajes cársticos de Istria, de los Burren irlandeses, y de Guilin en China, pese a sus dimensiones, no son fáciles de apreciar. No obstante en alta resolución deben verse con precisión muchas morfologías cársticas, tales como las dolinas, poljés, torres, cañones, etc.



Fig. 23. Mesas, capas horizontales en West Trapp, cuenca del Green River, USA (imagen oblicua) 39°50'18"N, 110°00'16"W, 7.400 ft (aproximativos)

6-4 Relieves estructurales.

Se puede decir que es el tema rey de nuestra propuesta, ya que significativamente corresponde a la mayoría de las formas visibles en las imágenes Landsat, aún con media resolución. Algunas de estas formas son:

a) Mesas y cuevas estructurales, mesas en escalera, pináculos, cuevas, hog back: Denver, Colorado, Sahara, Atlas, Península Arábig (Figuras 13 y 23).

b) Pliegues en relieves positivos, negativos y exhumados: muy bien destacados y abundantes en el Atlas, Irán, Zagros, y ocasionales en los Pre-Alpes (Figuras 6, 7, 24 y 25).

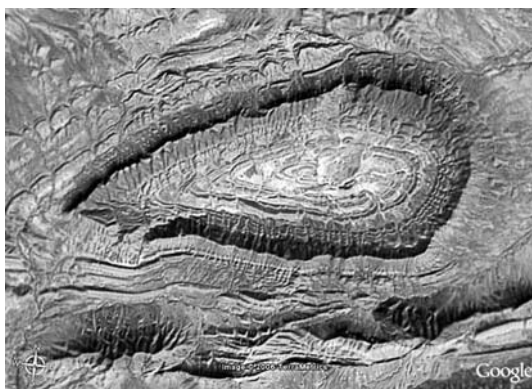


Fig. 24. Pliegue con relieve invertido (sinclinal elevado o colgado), Gran Atlas, 32°19'00"N, 4°45'23"W, 41.800 ft (12,54 km)



Fig. 25. Anticlinal de núcleo exhumado, Monts des Ksout (Gran Atlas sahariano). 33°16'18"N, 0°39'27"E, 12,12 mi. (19,2 km) Fig. 17. Río Senegal (cerca de Kaédi) (el agua ocupa los canales y la llanura de inundación). 16°07'10"N 13°42'06"W, 52.230 ft (15,6 km)

c) Relieves apalachianos y pediplanos: el modelo apalachiano está bien desarrollado en el Atlas, Apalaches, Brasil (cerca de la frontera con Bolivia por ejemplo), Australia, etc. (Figuras 26 y 27). Los pediplanos son muy extensos y bien desarrollados en Sáhara (al oeste del macizo de Hoggar), etc. (Figura 28).



Fig. 26. Relieves apalachianos en la cadena Samfrau australiana (cerca de Tennant Creek, desierto Tanami). 20°44'41"S, 134°46'53"E, 14,02 mi (32,4 km)

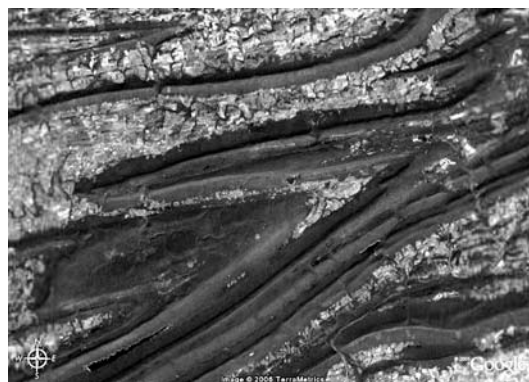


Fig. 27. Los Apalaches (en Lancaster). 40°40'N, 76°35'W, 34 mi (54,4 km)

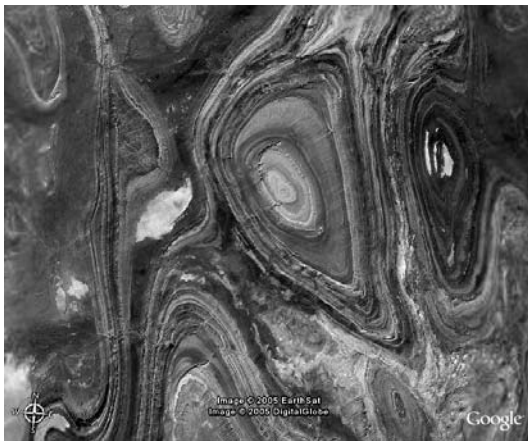


Fig. 28. Pediplano (el relieve es mínimo aquí) en el Hoggar plegado (Sáhara central). $26^{\circ}18'12''N$, $2^{\circ}01'43''E$, 22,96 mi (36 km)

6-5 Relieves litorales.

Como ejemplos de litorales estructurales rocosos tenemos los de Yugoslavia, Chile (península de Mejillones), etc. También hay algún litoral rocoso sin relación directa con la tectónica (NE de Arabia) (Figura 29). En cuanto a litorales arenosos destacan los del Sáhara occidental (a la altura de Canarias e Ifni), Kalahari (Angola), costas holandesas, etc. (Figura 30).

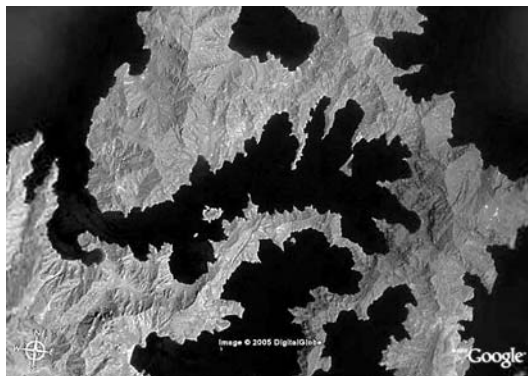


Fig.29. Litoral rocoso de Oman. $26^{\circ}12'40''N$, $56^{\circ}21'58''E$, 51.230 ft (15,36 km)



Fig. 30. Lagoon en la costa báltica holandesa (Waddenzee e islas Frisias). $53^{\circ}26'09''N$, $5^{\circ}58'20''E$, 28.160 ft (8450 m)

6-6. Cráteres de impacto.

En general son espectaculares y fácilmente reconocibles, por su forma circular, el farallón de reborde y la depresión interior (por ejemplo el Herdbury australiano visitado por la AEPECT en 1999), pero no siempre muestran todos los detalles. Algunos muy antiguos son ocupados por lagos circulares tras la erosión del núcleo de brecha: se destacan desde lejos ya que el agua se ve en tonos oscuros o negros (Figura 31). Otros muestran un reborde muy elevado, como el Gosses de Australia Central (Figura 32).



Fig. 31. Clearwater E y W: cráteres en el Precámbrico canadiense (Labrador), $56^{\circ}07'47''N$, $74^{\circ}21'10''W$, 44 mi. (70 km)



Fig. 32. Cráter de Gosses Bluff, centro de Australia. $23^{\circ}49'27''S$, $132^{\circ}18'26''E$, 28.119 ft (8435 m)

En algunos casos puede haber confusión con estructuras volcánicas: la de Kondyor (Platinum Mine, en la altiplanicie de Yudoma, Manchuria), es una aparente estructura que se destaca (en el Earth Google) por el falso color rosado desde una distancia considerable (Figura 33).

El lector puede consultar al respecto algunas de las páginas virtuales de Internet, por ejemplo <www.craterdeimpacto.com>, con un catalogo de cráteres, algunos fácilmente visibles desde nuestro programa Earth Google.



Fig. 33. Kondyor Platinum Mine, Manchuria (imagen oblicua: 57°34'29''N, 134°40'17''E, 10,78 mi., aproximativo)

PROPUESTAS

Al llegar hasta aquí, es interesante proponer los siguientes trabajos, o aquellos que el profesor elija según el nivel educativo y el temario a impartir.

1- Intentar reconocer grandes **pliegues**. Si solo se pretende este primer nivel pueden verse bien los de Irán, El Atlas, etc.)

Un segundo nivel, mas preciso, exige conocer antes un capítulo de estructural, que contemple pliegues concéntricos, isoclinales y disarmónicos de ciertas dimensiones. Esta propuesta supone navegar por el Atlas argelino, los Montes Zagros o el centro de Irán (magníficos ejemplos de diapiros, pliegues con cierre periclinal, etc.)

2- Reconocer las **fallas**. Las diaclasas son fáciles de distinguir en areniscas y calizas de colores claros: por ejemplo en niveles de las series del desierto de Arizona, en el desierto Pintado o en el Bryce Canyon, todas en Estados Unidos. Interesante es también la Reserva Natural de Granitos, en Australia. Navegando por Afar, y hacia el sur, es visible el proceso de rifting. Una falla gravitacional bien marcada (se aprecia el hundimiento del bloque Oeste) es la de Dúrcal (Granada). Los desgarres suelen ser bastante visibles en muchos lugares.

3- Identificar **volcanes**. Esta propuesta es fácil, por lo que debe ser manejada con mayor precisión y requerimiento. Un primer nivel es reconocer volcanes circulares en cono. En general los volcanes se

destacan por su color oscuro, casi negro en ocasiones y sus formas ovaladas. A veces son visibles los campos salpicados de múltiples salidas eruptivas asociados a una estructura de mayor tamaño. Son espectaculares los de Chile y Bolivia, asociados a lagunas salinas de intenso color blanco o azul. Otros se reconocen por sus coladas negras sobre la planicie desértica (Tibesti, USA). En las Rocosas son visibles gran número de estructuras volcánicas, alguna en alta resolución (Saint Helen)

Algunos volcanes bien conocidos presentan sin embargo peor visibilidad en el Google Earth, como el complejo de los Puys franceses, el Etna, y algunos de Indonesia. En estos últimos suele haber amplias áreas ocultas bajo nubes.

4- Cráteres de impacto. El estudiante-navegante puede tener sorpresas interesantes, como las estructuras de impacto, algunas bien conocidas por la literatura (los cráteres canadienses, el Crater Meteor de Arizona) pero también otras menos conocidas, como el Ouarkiz sahariano, en la gran cuesta del Jebel al Sur del Atlas (Figura 34). Si se tiene paciencia es posible detectar muchos más.

Consideramos que lo presentado hasta ahora es una propuesta suficiente para interesarnos e iniciarnos en el reconocimiento de formas y estructuras a través del Programa del Google Earth. En una segunda parte de este trabajo, presentaremos otras propuestas en el campo de la Geomorfología, tales como realizar un catálogo de formas de dunas, reconocer

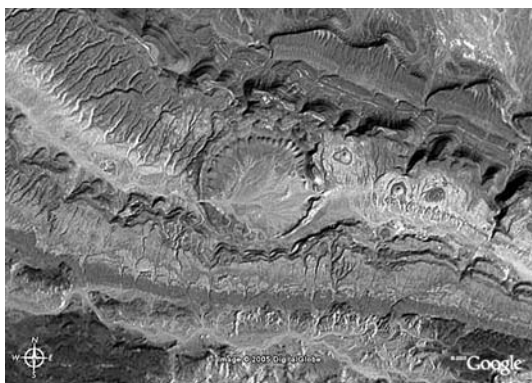


Fig. 34. Cráter de Ouarkiz, en el Jebel-O, Sáhara argelino: 29°00'30"N, 7°32'57"W, 40.160 ft (12050 m)

formas del dominio periglaciario (incluidos los suelos poligonales), identificar filones, modelizar las formas fluviales posibles y estudiar los deltas, entre otras.

NOTA

Es siempre conveniente conocer la escala a la que se observan las imágenes y obviamente deducir así el tamaño de las estructuras y geoformas. Se puede hacer una medición previa, en zonas conocidas de las que se dispone de un buen mapa detallado. La medida de la "altura de los ojos" nos dará el tamaño de la anchura de la foto: por ejemplo en la estructura de Ouarkiz (Figura 35) el diámetro es de 3,5 Km y la anchura del campo observado es de 15,7 Km, los dos cráteres canadienses (Clearwater, Figura 31) son mas grandes: 22 y 32 Km de diámetro, y el Gosses (Figura 32) australiano alcanza los 22 Km. En la arenisca Navajo (Figura 8) las diaclasas tienen un espaciado de 10 m. Otra opción es establecer previamente una relación de escalas para cada "altura de ojos" en particular: por ejemplo a 30 millas la anchura observada (dimensión del campo) es de x km, por lo que la escala será de 1:200.000?, o bien a 12.000 pies, la anchura es de x m, y la escala de 1:20.000? (el autor deja los datos como parte del ejercicio).

A MODO DE CONCLUSIÓN

La metodología de enseñanza que abunda en asociar a la parte teórica de buenos ejemplos de estructuras y modelos de relieves es ya clásica desde

hace bastante tiempo, en todos los cursos de enseñanza de la geología y a todos los niveles. La llegada desde hace algunos años de las redes interactivas en las que puede navegar el alumnado vía Internet es también un gran avance didáctico. Pero aun más, con este trabajo se sugiere la utilización desde Internet de un método interactivo, si cabe el término, de investigar y buscar ejemplos de diversos aspectos geológicos factibles de tratamiento gráfico, de imágenes reales o virtuales de estructuras y modelos de relieves, especialmente estructurales.

La intención este artículo ha sido, fundamentalmente, explicar la utilidad de usar el programa Google Earth con imágenes no fijas sino interactivas, de toda la Tierra, lo cual creemos es sin duda mucho más eficaz. Especialmente por el hecho de tener casi todos los ejemplos posibles de cualquier estructura tectónica y sobre todo geoforma. Los temarios a proponer podrían ser aun más numerosos y variados, e incluso más ambiciosos y específicos, para niveles de conocimiento superior. Pero creo que esta sería una labor del profesorado, en función del nivel que desea obtener de su curso concreto. Sirvan de ejemplo los que aquí se han propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo (2004). *La Tierra desde el Cielo*, Blume edit.
- Holmes, A. & Holmes, D.L. (1982): *Introducción a la Geología*, trad. de la ed. inglesa de 1980. Ed. Omega, Barcelona
- Lamas Valente, N. (2006). *Navegando por los países del mundo con Google Earth*, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2006 (14.1): 85-88.
- Press, F., Siever, R., Grotzinger, J. & Jordan, T.H. (2003) *Understanding Earth*. Freeman and Co., New York.
- Sánchez Fernández, M. y Fernández López, L. (2004). *El uso de satélites en las Ciencias de la Tierra y de la Vida*, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2004 (12.3): 248-252.
- Summerfield, M.A. (1991). *Global Geomorphology*. Ed. Longman, London.
- Summerfield, M.D. edit. (1994). *Plate Tectonics and Global Geomorphology*. Ed Longman, London.

www.crateresdeimpacto.com

Earth Google: www.Earth Google.com

Image ° 2005 Digital Globe, Image ° 2005 Earth Sat
Image ° 2006 MDA Sat, Image ° 2006 Terra Metrics ■